

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-156473

(43)Date of publication of application : 16.06.1998

---

(51)Int.Cl.                      B21J 5/00  
                                    B21K 1/22  
                                    B21K 3/04  
                                    C22C 14/00  
                                    C22F 1/18  
                                    // C22F 1/00  
                                    C22F 1/00  
                                    C22F 1/00

---

(21)Application number : 08-314000

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 25.11.1996

(72)Inventor : MIZUHARA YOJI  
HASHIMOTO KEIZO  
SATO SETSUO

---

(54) HOT WORKING METHOD OF TiAl BASE INTERMETALLIC COMPOUND

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain complicate shape of products without generating cracks with high producing efficiency by hot forging a TiAl base intermetallic compound under the range of a specified temperature and a strain rate.

SOLUTION: The TiAl base intermetallic compound is coated with a sheath and hot forged at  $\geq 1000^{\circ}\text{C}$  and at the strain rate of  $10^{-1}$  to  $50\text{s}^{-1}$ . The sheath is made of Ti, a Ti alloy or steel and specified to be  $\geq 1\text{mm}$  in thickness. Also, oxide or ceramics whose reactivity with the TiAl based intermetallic compound is low and thermally stable is inserted between the TiAl base intermetallic compound and the sheath, and hot forging is executed. The TiAl base intermetallic compound is easily taken out of the sheath after hot forging by inserting oxide or nitride. In order to prevent the reaction between the TiAl base intermetallic compound and the sheath during hot working, oxide of CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  or the like and nitride of BN or the like are used.

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A hot-working method of a compound between TiAl basic metal covering a compound between TiAl basic metal with a sheath, and carrying out hot forging with a strain rate of not less than 1000 \*\* and  $10^{-1} - 50 \text{ s}^{-1}$ .

[Claim 2]A hot-working method of a compound between TiAl basic metal according to claim 1 a compound between said TiAl basic metal contains Cr.

[Claim 3]A hot-working method of a compound between TiAl basic metal according to claim 1 or 2 said sheath consists of Ti, a Ti alloy, or steel materials, and thickness is more than 1 mm.

[Claim 4]A hot-working method of a compound between TiAl basic metal according to claim 1, 2, or 3 which reactivity with a compound between TiAl basic metal is low between a compound between said TiAl basic metal, and said sheath, and a stable oxide or ceramics is made to be thermally placed between them, and carries out hot forging.

## DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the hot-working method of the compound between TiAl basic metal.

[0002]The compound between TiAl basic metal concerning this invention is used for an airplane, a space shuttle and the member as which high specific strength and abrasion resistance, or heat resistance is required in a car and others, for example, a turbine blade, an engine valve, etc.

[0003]

[Description of the Prior Art]As for the member which exercises at high speed, for example, the material used for a turbine blade or an engine valve, it is desirable for heat resistance and specific strength to be high. If heat resistance and specific strength are high, it will become lightweight [ these members used at an elevated temperature ], and the thermal efficiency of a turbine, an engine, etc. will improve. Since titanium aluminide has high specific strength and heat resistance, it attracts attention as a material of these members. However, lack of a room temperature and the deformability in an elevated temperature and difficulty cutting ability pose a problem of a material manufacturing process.

[0004]Conventionally, the homoiothermal forging method currently indicated by JP,63-171862,A as a

hot-working method of the compound between TiAl basic metal is known. This method is a method of preventing a crack, by processing it with a comparatively late strain rate, after holding not only a sample but the dice for processing to an 800–1100 °C elevated temperature. In JP,2-224803,A, the hot-working method which used the homoiothermal rolling method performed under the conditions of the low distortion speed of the temperature of 900–1150 °C,  $10^{-2} - 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  under a vacuum (below  $10^{-2} \text{ Torr}$ ) or an inert gas atmosphere is indicated. Also in which processing method, it is an elevated temperature, and since it is processed at constant temperature, elevated-temperature maintenance of a dice or a reduction roll, antioxidizing of a raw material, and the prevention from a reaction with a raw material, and a dice and a reduction roll are needed. Since the equipment for a control atmosphere and a temperature control was needed along with it, the whole processing device was large-sized.

[0005]The method of performing hot working to JP,61-213361,A using the sheath which covers the circumference of a raw material as an invention which cancels the above-mentioned problem is indicated. As a result of processing it above 1000 °C, using the heat-resistant alloy of nickel system, Co system, or a Fe-nickel system as a sheath, the raw material is fabricated by this method to about 50% of working ratio, without oxidizing. JP,3-197630,A is indicating the hot-working method using the Ti alloy near the deformation resistance of TiAl as a sheath material. As a result of using a sheath material as a Ti alloy, shaping is possible to the working ratio of 60% which did not break and was not able to process hot working of TiAl with the above-mentioned sheath. In JP,8-238503,A, the compound between TiAl basic metal is covered with the sheath of steel, and not less than 900 °C, the temperature region below solidus temperature, and the hot-working method of the compound between TiAl basic metal which carries out hot working with a strain rate later than  $50 \text{ s}^{-1}$  are indicated. Hot working in the gazette is hot-rolled.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]The hot-working method of above-mentioned JP,8-238503,A hot-rolls the compound between TiAl basic metal covered with the sheath at the temperature of not less than 900 °C. Therefore, depending on rolling temperature, rolling reduction, or rolling speed, defects of shape, such as a crack and surface wrinkles, may occur to the compound between TiAl basic metal during rolling. Since it is rolling, the shape of processed goods is restricted to long pictures, such as a stick, a pipe, a board, and a profile, and easy shape. In hot-rolling, when enclosing TiAl with a sheath, it is necessary to carry out sealweld of the sheath opening. Therefore, the rate of productivity is low.

[0007]An object of this invention is to provide the hot-working method of the compound between TiAl basic metal for the ability to obtain complicated-shaped processed goods at the high rate of productivity, without defects, such as a crack, occurring.

[0008]

[Means for Solving the Problem]A hot-working method of a compound between TiAl basic metal of this invention is characterized by covering a compound between TiAl basic metal with a sheath, and carrying out hot forging with a strain rate of not less than 1000 °C and  $10^{-1} - 50 \text{ s}^{-1}$ .

[0009]Forging conditions are uniquely decided by the high-temperature-deformation characteristic of TiAl. Temperature at the time of a forge was not less than 1000 °C because there was a possibility that deformability of TiAl may fall remarkably at low temperature, and a crack may occur from it to a compound between TiAl basic metal. Since the liquid phase appears and a forge becomes impossible when forging

temperature exceeds solidus temperature, a maximum of forging temperature is solidus temperature. Floor to floor time becomes it long that a strain rate is less than  $10^{-1} \text{ s}^{-1}$ , temperature of work tools, such as material and a metallic mold, falls, it becomes easy to generate a crack and a rate of productivity falls. On the contrary, if a strain rate exceeds  $50 \text{ s}^{-1}$ , working speed becomes high, it is easy to generate a crack, and a healthy Plastic solid cannot be produced.

[0010]According to this invention, hot working of the compound between TiAl basic metal can be carried out, without generating defects, such as a crack of material. By using work tools, such as a metallic mold, complicated-shaped processed goods can be obtained for high productivity.

[0011]In a hot-working method of the above-mentioned compound between TiAl basic metal, one mode of this invention is that a compound between said TiAl basic metal contains Cr. A crack becomes difficult to generate a compound between TiAl basic metal by including Cr at the time of the increase of ductility, and a forge.

[0012]Said sheath consists of Ti, a Ti alloy, or steel materials, and thickness of other modes of this invention is more than 1 mm. A heat transfer amount to a tool which lets a sheath of a compound between TiAl basic metal pass as thickness of a sheath is less than 1 mm is large, and temperature of a compound between TiAl basic metal falls, and it becomes easy to generate a crack.

[0013]A mode of further others of this invention has low reactivity with a compound between TiAl basic metal between a compound between said TiAl basic metal, and a sheath, and is inserting and carrying out hot forging of a stable oxide or ceramics thermally. By inserting an oxide or ceramics, a compound between TiAl basic metal can be easily picked out from a sheath after hot forging.

[0014]

[Embodiment of the Invention]The hot-working method of the compound between TiAl basic metal of this invention covers the compound between TiAl basic metal with a sheath, and carries out hot forging with the strain rate of not less than  $1000 \text{ s}^{-1}$  and  $10^{-1} - 50 \text{ s}^{-1}$ .

[0015]In the describing [ above ] hot-working method, the chemical composition of the compound between TiAl basic metal is remainder inevitable impurities aluminum 38 – 51.5at% Ti 47.5 – 55at%. The below-mentioned element which had a high-temperature-deformation ability improved effect in the above-mentioned chemical composition may be added. In order to perform hot forging by the high strain rate and a high forge ratio, and to lower the deformation resistance of TiAl, it is desirable to perform hot working for the uniform minuteness making of a crystal grain as the preceding paragraph of hot forging. As the above-mentioned hot working, a homoiothermal forge is performed, for example above  $900^\circ \text{C}$ . What is necessary is just to make it what contains at least one beta stabilizers of Cr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, and V which have an effect in the improvement in high-temperature-deformation ability as a component system of the compound between TiAl basic metal, in order to improve a working characteristic. A forge can be performed in atmospheric air and they may be any of free forging and a die forging. Since a forge may be divided into multiple times, and may be performed and the temperature of material falls during a forge in that case, material is reheated to predetermined forging temperature on the way. Most generating of a crack is lost as forging temperature is not less than  $1000^\circ \text{C}$ . Productivity can be raised, if forging temperature is made high (for example, not less than  $1200^\circ \text{C}$ ) and a strain rate is enlarged (for example,  $1 - 50 \text{ s}^{-1}$ ). About 1 time of working ratio, it is preferred to consider it as not less than 30%. The reason is because a processing

modification organization's remaining in a construction material side, and becoming uneven and productivity worsen at less than 30%.

[0016]As for the content, when the compound between TiAl basic metal contains Cr, it is desirable that it is 1 – 5at%. A crack preventive effect becomes it small that the content of Cr is less than [ 1at% ]. If the content of Cr exceeds 5at%, a material cost will become high and a crack preventive effect will not go up so much.

[0017]Ti, a Ti alloy, or steel is used as a sheath material. A Ti alloy is Ti-6aluminum-4V and Ti-15V-3aluminum-3Cr-3Sn etc., and steel is carbon steel, alloy steel, stainless steel, etc. When sheaths are steel materials, there is a problem that deformation resistance is low, compared with the heat-resistant alloy conventionally used by the pyrosphere to forge. That is, in the same temperature conditions, since the sheath material of deformation resistance is lower, TiAl of a sheath and an inside will transform only the direction of a sheath material. What is necessary is just to adjust the temperature distribution in a sheath so that the deformation resistance of internal TiAl and an external sheath material may become equal for solving this. The temperature distribution in a sheath can be searched for by a thermal rating. The parameters of a thermal rating are the specific heat of a sheath material, density, the property value of thermal conductivity, forging temperature, a strain rate, the thickness of a sheath, the thickness of TiAl, a die temperature, etc. These parameters can be adjusted and TiAl can be fabricated by managing the temperature distribution in a sheath material so that deformation resistance of a sheath material and deformation resistance of internal TiAl may be made equal with a sheath. Since the environment of hot forging is among the atmosphere as a kind of steel materials, it is desirable to use the stainless steel which is excellent in oxidation resistance also in steel materials.

[0018]The raw material set by the target shape, such as tabular, rod form, or block like shape, is used for the raw material with which hot forging is presented. For example, what is necessary is just for the upper and lower sides of the tabular compound between TiAl basic metal to pinch a sheath material in a tabular case. When cylindrical, the cylindrical compound between TiAl basic metal is inserted in a tubular sheath material, and a sheath material is pinched between the metallic mold of both ends, the hitting field, and a metallic mold face.

[0019]In order to prevent the reaction between the compound between TiAl basic metal under hot working, and a sheath, nitrides, such as oxides, such as CaO, aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and ZrO<sub>2</sub>, and BN, are used. In order to make an oxide or ceramics intervene, these materials are inserted between the compound between TiAl basic metal, and a sheath, or an oxide is formed on the surface of TiAl. These materials cannot react to TiAl easily, and since it is chemically stable, they can take out TiAl from a sheath easily after hot forging. Even if these materials remain as it is after hot forging, they do not check the characteristic on [ TiAl ] an operating environment. When aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is used, since the characteristic as a protective film for the anti-oxidation characteristic can be desired, it is useful. When an oxide or ceramics enclose TiAl with a sheath, they are [ being a sheet shaped or ] powdered, and may be inserted, but even if it forms uniformly on TiAl by various coating technique, such as a plasma metal spray and a sol gel process, they do not interfere. Also by reforming the TiAl itself, it is possible to form an oxide on the surface of TiAl.

[0020]

[Example]

(Example 1) Plasma arc melting casts an ingot for 33.4 % of the weight of aluminum, 4.2 % of the weight of Cr(s), remainder Ti, and the compound between TiAl basic metal that consists of inevitable impurities as a raw material, and the high-temperature-deformation characteristic in order to improve, Structure control was performed with homiothermal forging method by the temperature of 1200 \*\*, and strain rate  $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . The pillar material of the size of diameter 18 mm and height 22 mm was started as a test specimen from there, and it used for the examination. As a sheath material, Ti alloy (Ti-6aluminum-4V) and SUS304 was used. After inserting a sample in the sheath of pipe shape, the upper and lower sides were covered with the disc-like sheath, and it fixed with the pipe of the side by spot welding. After holding after heating to a predetermined temperature at the furnace of atmospheric air for 10 minutes, it forged of the conditions shown in Table 1. The working ratio at this time was set up to 70%.

[Table 1]

It investigates whether the defect and the crack have occurred about the compound between TiAl basic metal picked out from the sheath, and the result is shown in Table 1. When the temperature of the furnace as shown in the comparative example 1 forged of the low temperature below 900 \*\*, it was the unwholesome thing included a defect and a crack fatal as a structural material. In the forging conditions of  $0.01 \text{ s}^{-1}$ , by cooling from a metallic mold, the sample got cold and, as for the internal compound between TiAl basic metal, the case where it wrapped and forges of Ta foil of 0.1 mm thickness, and the strain rate have broken. In the case where it forges without a sheath, surface oxidation was severe and broke in the middle of processing.

[0021](Example 2) Hot forging was performed on the same conditions as Example 1 using the compound between TiAl basic metal and sheath which consist of 31.5 % of the weight of aluminum, 11.5 % of the weight of Nb(s), remainder Ti, and inevitable impurities as a raw material. Hot forging was performed in this example, using the sheet of aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as reaction prevention material. The boundary part of the compound between TiAl basic metal and a sheath was cut after the forge, and it was evaluated whether the compound between TiAl basic metal could be exfoliated from a sheath. As a result, also on which forging conditions, after cutting, the internal compound between TiAl basic metal could be easily exfoliated from the sheath, and the healthy thing was obtained in the conditions of Example 1, without moreover a crack occurring. As a result of analyzing the surface about the obtained compound between TiAl basic metal, although aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub> had adhered with a forge in part, diffusion of the metal atom from a sheath was not detected, but it was checked that it is a healthy forging.

[0022]

[Effect of the Invention]The hot-working method of the compound between TiAl basic metal by this invention carries out hot forging of the compound between TiAl basic metal under a predetermined temperature requirement and the strain rate range. Therefore, the processed goods of the complicated shape of the compound between TiAl basic metal can be obtained at the high rate of productivity, without a crack occurring.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-156473

(43) 公開日 平成10年(1998) 6 月16日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
B 2 1 J	5/00	B 2 1 J	5/00 E
B 2 1 K	1/22	B 2 1 K	1/22
	3/04		3/04
C 2 2 C	14/00	C 2 2 C	14/00 Z
C 2 2 F	1/18	C 2 2 F	1/18 H
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 4 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平8-314000

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 11 月25日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 3 号

(72) 発明者 水原 洋治

神奈川県川崎市中原区井田 3 丁目35番 1 号

新日本製鐵株式会社先端技術研究所内

(72) 発明者 橋本 敬三

神奈川県川崎市中原区井田 3 丁目35番 1 号

新日本製鐵株式会社先端技術研究所内

(72) 発明者 佐藤 節雄

神奈川県川崎市中原区井田 3 丁目35番 1 号

新日本製鐵株式会社先端技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 矢葺 知之 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 T i A l 基金属間化合物の熱間加工法

(57) 【要約】

【課題】 複雑な形状の加工品を、割れが発生することなく高い生産能率で得ることができる T i A l 基金属間化合物の熱間加工法を提供する。

【解決手段】 T i A l 基金属間化合物をシースで被覆し、1 0 0 0 ℃以上、かつ  $1 0^{-1} \sim 5 0 \text{ s}^{-1}$  の歪速度で熱間鍛造する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 TiAl基金属間化合物をシースで被覆し、1000℃以上、かつ $10^{-1} \sim 50 \text{ s}^{-1}$ の歪速度で熱間鍛造することを特徴とするTiAl基金属間化合物の熱間加工法。

【請求項2】 前記TiAl基金属間化合物がCrを含む請求項1記載のTiAl基金属間化合物の熱間加工法。

【請求項3】 前記シースがTi、Ti合金、または鋼材からなり、厚さが1 mm以上である請求項1または請求項2記載のTiAl基金属間化合物の熱間加工法。

【請求項4】 前記TiAl基金属間化合物と前記シースとの間に、TiAl基金属間化合物との反応性が低く、熱的に安定な酸化物またはセラミックスを介在させて熱間鍛造する請求項1、2または3記載のTiAl基金属間化合物の熱間加工法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、TiAl基金属間化合物の熱間加工法に関する。

【0002】この発明に係るTiAl基金属間化合物は、航空機、宇宙往還機、自動車その他において高い比強度、および耐摩耗性または耐熱性が要求される部材、たとえばタービンブレード、エンジンバルブなどに用いられる。

## 【0003】

【従来の技術】高速で運動する部材、たとえばタービンブレードやエンジンバルブに用いられる材料は、耐熱性および比強度が高いことが望ましい。耐熱性および比強度が高ければ、高温で使用されるこれら部材は軽量となり、タービンやエンジンなどの熱効率は向上する。チタンアルミナイドは高い比強度と耐熱性をもっているため、これら部材の材料として注目されている。しかし、室温、高温での変形能の欠如、難切削性が材料製造プロセス上の問題となっている。

【0004】従来、TiAl基金属間化合物の熱間加工法として特開昭63-171862号公報に開示されている恒温鍛造法が知られている。この方法は試料だけでなく加工用ダイスも800～1100℃の高温に保持した後、比較的遅い歪速度で加工することにより割れを防止する方法である。また、特開平2-224803号公報では、真空( $10^{-2}$  Torr以下)または不活性ガス雰囲気下で温度900～1150℃、 $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の低歪速度の条件下で行う恒温圧延法を利用した熱間加工法が開示されている。いずれの加工法においても高温でかつ一定温度で加工を行うので、ダイスや圧延ロールの高温保持、素材の酸化防止、および素材とダイスや圧延ロールとの反応防止が必要となる。それに付随して雰囲気制御、温度コントロールのための設備を必要とするので、加工装置全体が大型になっていた。

【0005】上記問題点を解消する発明として特開昭61-213361号公報に素材の周囲を被覆するシースを用いて熱間加工を行う方法が開示されている。この方法ではNi系、Co系あるいはFe-Ni系の耐熱合金をシースとして用い、1000℃以上で加工を行った結果、加工率50%程度まで素材は酸化されることなく成形されている。特開平3-197630号公報は、シース材としてTiAlの変形抵抗に近いTi合金を用いた熱間加工法を開示している。シース材をTi合金にした結果、TiAlの熱間加工を割れなく前述のシースでは加工できなかった60%の加工率まで成形が可能になっている。さらに、特開平8-238503号公報では、TiAl基金属間化合物を鋼のシースで被覆し、900℃以上、かつ固相線温度以下の温度域、および $50 \text{ s}^{-1}$ より遅い歪速度で熱間加工するTiAl基金属間化合物の熱間加工法が開示されている。同公報での熱間加工は、熱間圧延となっている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平8-238503号公報の熱間加工法は、シースで被覆したTiAl基金属間化合物を、900℃以上の温度で熱間圧延する。したがって、圧延温度、圧下率、または圧延速度によつては、圧延中にTiAl基金属間化合物に割れや表面しわなどの形状不良が発生することがある。また、圧延であるために加工品の形状は棒、管、板、型材など長尺かつ簡単な形状に限られる。さらに、熱間圧延では、シースにTiAlを封入する際、シース開口部をシール溶接する必要がある。したがって、生産能率が低い。

【0007】この発明は、複雑な形状の加工品を、割れなどの欠陥が発生することなく高い生産能率で得ることができるTiAl基金属間化合物の熱間加工法を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】この発明のTiAl基金属間化合物の熱間加工法は、TiAl基金属間化合物をシースで被覆し、1000℃以上、かつ $10^{-1} \sim 50 \text{ s}^{-1}$ の歪速度で熱間鍛造することを特徴としている。

【0009】鍛造条件は、TiAlの高温変形特性で一般的に決まる。鍛造時の温度を1000℃以上としたのは、それより低温ではTiAlの変形能が著しく低下し、TiAl基金属間化合物に割れが発生するおそれがあるためである。鍛造温度が固相線温度を超えると、液相が現れて鍛造ができなくなるので、鍛造温度の上限は固相線温度である。歪速度が $10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 未満であると、加工時間が長くなり、材料および金型などの加工具の温度が低下して割れが発生しやすくなり、また生産能率が低下する。逆に、歪速度が $50 \text{ s}^{-1}$ を超えると、加工速度が高くなり割れが発生しやすく、健全な成形体を作製することができない。

【0010】この発明によれば、材料の割れなどの欠陥



を発生させることなく、TiAl基金属間化合物を熱間加工することができる。金型などの加工具を用いることにより、複雑な形状の加工品を高い生産性で得ることができる。

【0011】上記TiAl基金属間化合物の熱間加工法において、この発明の一つの態様は、前記TiAl基金属間化合物がCrを含むことである。TiAl基金属間化合物はCrを含むことにより延性が増し、鍛造時に割れが発生しにくくなる。

【0012】この発明の他の態様は、前記シースがTi、Ti合金または鋼材からなり、厚さが1mm以上である。シースの厚さが1mm未満であると、TiAl基金属間化合物のシースを通しての工具への伝熱量が大きく、TiAl基金属間化合物の温度が低下して割れが発生しやすくなる。

【0013】また、この発明の更に他の態様は、前記TiAl基金属間化合物とシースとの間に、TiAl基金属間化合物との反応性が低く、熱的に安定な酸化物またはセラミックスを挿入して熱間鍛造することである。酸化物またはセラミックスを挿入することにより、熱間鍛造後にシースからTiAl基金属間化合物を容易に取り出すことができる。

#### 【0014】

【発明の実施の形態】この発明のTiAl基金属間化合物の熱間加工法は、TiAl基金属間化合物をシースで被覆し、1000℃以上、かつ10<sup>-1</sup>～50 s<sup>-1</sup>の歪速度で熱間鍛造する。

【0015】上記熱間加工法において、TiAl基金属間化合物の化学組成は、Ti 47.5～55at%、Al 38～51.5at%、残部不可避免的な不純物である。また、上記化学組成に高温変形能向上効果をもった後述の元素を加えてもよい。高歪速度、かつ高鍛造比で熱間鍛造を行うには、TiAlの変形抵抗を下げるために熱間鍛造の前段として結晶粒の均一微細化のための熱間加工を行うことが望ましい。上記熱間加工として、たとえば900℃以上で恒温鍛造を行う。さらに、加工特性を向上するには、TiAl基金属間化合物の成分系として、高温変形能向上に効果があるCr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Vの少なくとも一つのβ相安定化元素を含むものにすればよい。鍛造は大気雰囲気中で行うことができ、自由鍛造、型鍛造のいずれであってもよい。鍛造を複数回に分けて行ってもよく、その場合には鍛造中に材料の温度が低下するので、途中で材料を所定の鍛造温度に再加熱する。鍛造温度が1000℃以上であると、割れの発生はほとんどなくなる。鍛造温度を高く（たとえば1200℃以上）して歪速度を大きく（たとえば、1～50 s<sup>-1</sup>）すると、生産性を上げることができる。1回の加工率については30%以上とすることが好ましい。その理由は30%未満では材質面において加工変形組織が残って不均一となることと、生産性が悪くなるた

めである。

【0016】TiAl基金属間化合物がCrを含む場合、その含有量は、1～5at%であることが望ましい。Crの含有量が1at%未満であると、割れ防止効果が小さくなる。また、Crの含有量が5at%を超えると、材料費が高くなり、割れ防止効果はそれほど上昇しない。

【0017】シース材として、Ti、Ti合金、または鋼が用いられる。Ti合金はTi-6Al-4V、Ti-15V-3Al-3Cr-3Snなどであり、鋼は炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼などである。シースが鋼材である場合、鍛造する高温域で従来用いられていた耐熱合金に比べ、変形抵抗が低いという問題点がある。すなわち、シースと内部のTiAlが同じ温度条件ではシース材の方が変形抵抗が低いためにシース材の方ばかり変形することになる。これを解決するには内部のTiAlと外部のシース材の変形抵抗が等しくなるようにシース内の温度分布を調節すればよい。シース内の温度分布は、伝熱計算により求めることができる。伝熱計算のパラメータは、シース材の比熱、密度、熱伝導率の物性値、鍛造温度、歪速度、シースの厚み、TiAlの厚み、金型温度などである。それらパラメータを調整し、シース材の変形抵抗と内部のTiAlの変形抵抗を等しくするようにシース材内の温度分布を管理することで、TiAlをシースとともに成形することができる。また、鋼材の種類としては熱間鍛造の環境が大気中であるため、鋼材の中でも耐酸化性に優れるステンレス鋼を用いることが望ましい。

【0018】熱間鍛造に供される素材は、板状、棒状、またはブロック状など目的の形状に合わせた素材を用いる。たとえば、板状の場合、板状のTiAl基金属間化合物の上下面にシース材を挟むだけでよい。また、棒状の場合、棒状のTiAl基金属間化合物を管状シース材に挿入し、両端部の金型と当たる面と金型面との間にシース材を挟む。

【0019】熱間加工中のTiAl基金属間化合物とシースとの間の反応を防止するため、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>などの酸化物やBNなどの窒化物が用いられる。酸化物またはセラミックスを介させるには、これら材料をTiAl基金属間化合物とシースとの間に挿入するか、またはTiAlの表面に酸化物を形成する。これら材料はTiAlと反応しにくく、化学的に安定であるため、熱間鍛造後にシースから容易にTiAlを取り出すことができる。これら材料は、熱間鍛造後そのまま残っていても、使用環境上TiAlの特性を阻害するようなことがない。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いた場合、耐酸化特性のための保護膜としての特性を望めるので有益である。酸化物またはセラミックスは、シースにTiAlを封入する際にシート状あるいは粉末状で挿入してもよいが、プラズマ溶射やゾルゲル法等の各種コーティング技術によりTiAlの上に均一に形成しても差し支え

ない。TiAl 自身を改質することによっても、TiAl の表面に酸化物を形成することは可能である。

#### 【0020】

##### 【実施例】

(実施例 1) 素材として Al 3 3. 4 重量%、Cr 4. 2 重量%、残部 Ti、および不可避免の不純物からなる TiAl 基金属間化合物をプラズマアーク溶解によりインゴットを鋳造し、高温変形特性を向上する目的で、温度 1 2 0 0℃、歪速度  $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  で恒温鍛造法により組織制御を行った。そこから供試材として直径 1 8 mm 10

、高さ 2 2 mm の大きさの円柱材を切り出し、試験に用いた。シース材としては Ti 合金 (Ti - 6 Al - 4 V)、および SUS 3 0 4 を用いた。試料をパイプ状のシースに挿入したのち、上下面を円盤状のシースで覆ってスポット溶接で側面のパイプと固定した。大気雰囲気の中で所定の温度まで加熱後、1 0 分保持したのち、表 1 に示した条件で鍛造を行った。この時の加工率は 7 0 % に設定した。

【表 1】

試験番号	シース材	シース材厚み(mm)	炉の温度(℃)	初期歪速度(1/sec)	割れの有無	区分
1	Ti 合金	5	1 3 0 0	1 0	無	実施例 1
2	Ti 合金	5	1 2 0 0	3	無	
3	Ti 合金	1	1 2 0 0	3	無	
4	Ti 合金	5	1 0 0 0	3	無	
5	Ti 合金	5	1 2 0 0	0. 3	無	
6	SUS	2	1 2 0 0	3	無	
7	SUS	2	1 0 0 0	3	無	
8	Ti 合金	5	1 2 0 0	0. 0 1	有	比較例 1
9	Ti 合金	1	9 0 0	3	有	
1 0	Ta	0. 1	1 2 0 0	3	有	
1 1	無し		1 2 0 0	3	有	

シースから取り出した TiAl 基金属間化合物について欠陥や割れが発生しているか否かを調べ、その結果を表 1 に示す。比較例 1 に示したような炉の温度が 9 0 0℃未満の低温で鍛造を行うと構造材として致命的な欠陥や割れを含んだ不健全なものであった。また、0. 1 mm 厚さの Ta 箔で包んで鍛造した場合や歪速度が  $0. 0 1 \text{ s}^{-1}$  の鍛造条件では、金型からの抜熱によって試料が冷えてしまい、内部の TiAl 基金属間化合物は割れてしまった。また、シースなしで鍛造した場合は、表面の酸化がひどく、加工途中で破壊した。

【0021】(実施例 2) 素材として Al 3 1. 5 重量%、Nb 1 1. 5 重量%、残部 Ti、および不可避免の不純物からなる TiAl 基金属間化合物、シースを用い実施例 1 と同じ条件で熱間鍛造を行った。本例では、反応防止材として Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のシートを用い、熱間鍛造を行った。鍛造後、TiAl 基金属間化合物とシースの境界

部分を切断し、TiAl 基金属間化合物をシースから剥離できるか否かを評価した。その結果、実施例 1 の条件では、何れの鍛造条件においても切断後、容易にシースより内部の TiAl 基金属間化合物を剥離することができ、しかも割れが発生せずに健全なものが得られた。得られた TiAl 基金属間化合物についてその表面を分析した結果、一部 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が鍛造によって付着していたがシースからの金属原子の拡散は検出されず、健全な鍛造材であることが確認された。

#### 【0022】

【発明の効果】この発明による TiAl 基金属間化合物の熱間加工法は、所定の温度範囲および歪速度範囲の下で、TiAl 基金属間化合物を熱間鍛造する。したがって、TiAl 基金属間化合物の複雑な形状の加工品を、割れが発生することなく、高い生産能率で得ることができる。

フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

// C 2 2 F 1/00

識別記号

6 5 1

6 8 3

6 9 4

F 1

C 2 2 F 1/00

6 5 1 B

6 8 3

6 9 4 Z

6 9 4 B